

ЧАСОПИС ЗА АСТРОНОМИЈУ
АСТРОНОМСКО ДРУШТВО "РУЂЕР БОШКОВИЋ"
БЕОГРАД • • УДК 521-5 YU ISSN 0506-4295

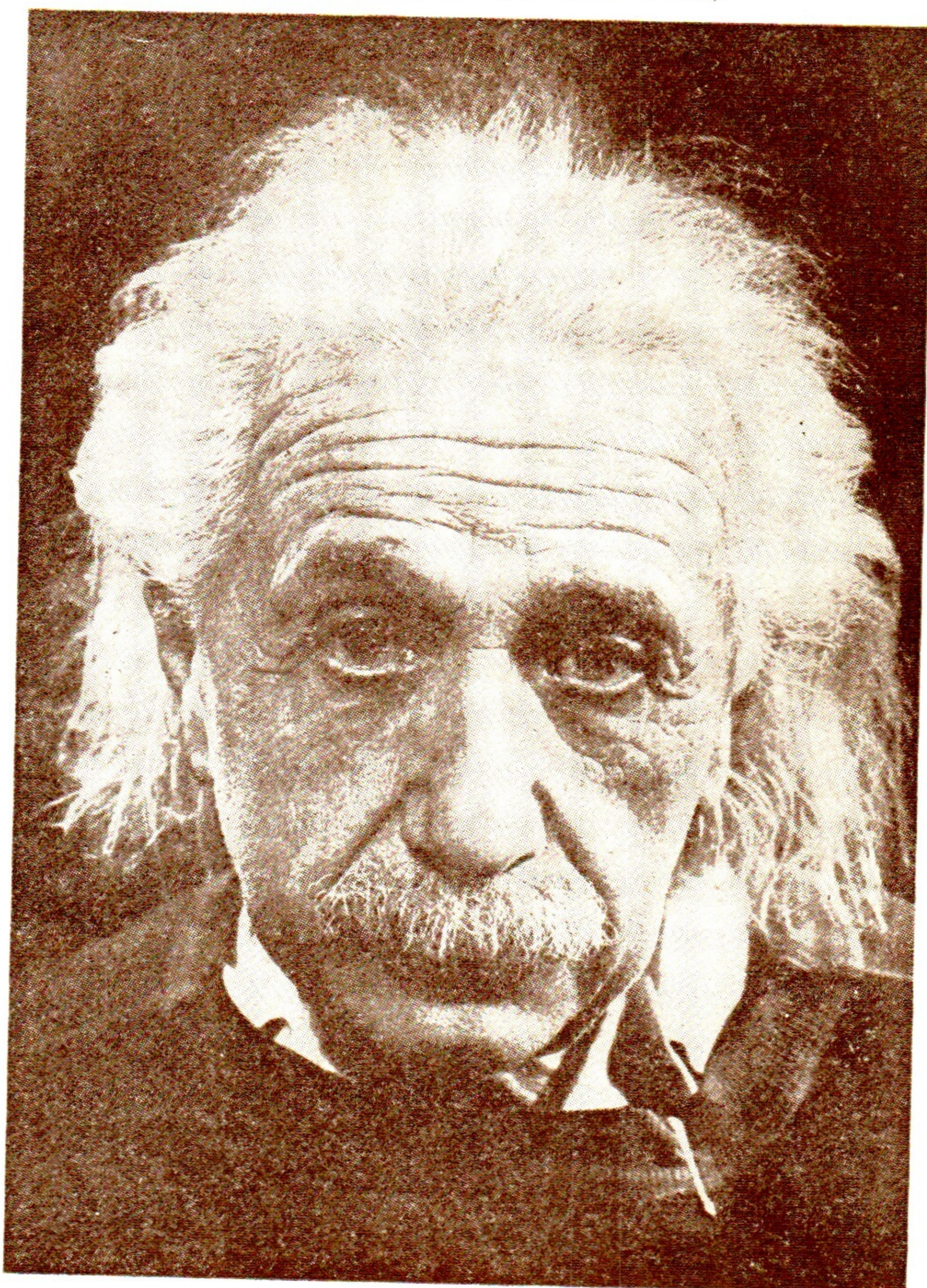


1980 3

ГОДИНА XXVIII
КЊИГА VII

ОВАЈ БРОЈ ЈЕ ПОСВЕЋЕН СТОГОДИШЊИЦИ РОЂЕЊА АЛБЕРТА АЈНШТАЈНА

(Алберт Ајнштајн 1879—1955)



VASIONA

REVUE D'ASTRONOMIE

ANNÉE XXVIII
1980 № 3
BEOGRAD

Bulletin de la Société Astronomique „R. Bošković“. Adresse: VASIONA, Narodna opservatorija, Kalemegdan, Gornji Grad, Beograd, Yougoslavie

САДРЖАЈ

CONTENTS

ВАСИОНА, часопис за астрономију. Издаје Астрономско друштво „Руђер Бошковић” уз учешће Републичке заједнице за науку СР Србије. Адреса уредништва и администрације: 11000 Београд. Калемегдан, Народна опсерваторија. Тел. 624-605. Рукописи се не враћају. Годишња претплата НД 50. За иностранство 100. За ученике, ако поруче најмање 10 примерака НД 30. Поједини број НД 12,50. Претплату слати у корист рачуна број 60806—678—6639

„Васиона” бр. 3 1980, година XXVIII, књига VII, стр. 49 – 68, штампано новембра 1980.

На основу мишљења Републичког секретаријата за културу број 413-665/74-02 од 27. XII 1974. ово издање је ослобођено пореза на промет

Штампа: НИГРО „Привредни преглед”, Београд, Маршала Бирјузова 3—5.

ВАСИОНА ЧАСОПИС ЗА АСТРОНОМИЈУ

ГОДИНА XXVIII
1980 БРОЈ 3
БЕОГРАД

UDC 530.01:140.8:531.6 (021.2)

ВЕЛИКАН ЗЛАТНОГ ВЕКА ФИЗИКЕ

Реља В. Пойић

Институт за примењену физику, Београд

Током целе 1979 године физичари света су обележавали стоту годишњицу Ајнштајновог рођења с дубоким поштовањем и дивљењем према његовом делу, које је отворило нове, пре њега чак и незамисливе путеве истраживања природе. Колико су велики, не само теоријски, него и практични резултати тих истраживања, види се и по ширини прославе Ајнштајновог јубилеја, у којој учетвује цело човечанство, иначе, у просеку, шкрто према откривачима природе, а још и у много чему несложно, па ипак безрезервно јединствено у одавању поште генију највећег физичара златног века физике.

Достигнућа Ајнштајновог века физике заснована су на теоријама релативности, квантној теорији и нуклеарној физици. Теорија релативности, специјална и општа, у потпуности су дела Ајнштајнова.

У оквиру специјалне теорије релативности настали су нови појмови о простору-времену, о маси и енергији као међусобно еквивалентним видовима материје, о брзини светлости као највећој могућој брзини; касније проверене и доказане последице, од којих поменимо „парадокс" различитих времена у системима посматрања који се крећу један у односу на другога или, у таквим системима, ефекат повећања масе тела, изгледале су тако необично и толико ван сваког уобичајеног резона да је, по објављивању специјалне теорије релативности (1905), мало ко у њу веровао.

Ајнштајн је водио дугу, упорну борбу у јавности за своје теорије. Чак и многи славни физичари, који су га ценили због других његових радова, а о људима ван те професије да и не говоримо, били су противници његових теорија релативности. Зато је често иступао у јавности, а постепено све више подржан експерименталним проверама, видео је успешно продирање својих теорија и лагано осипање њихових противника.

Ако се подсетимо да је, у религијама затуцаном и ограниченом свету XVI века, Галилеј, уводећи експериментални метод у физику, и шире указао на важност експериментално утврђених чињеница — уочавамо да је Ајнштајн, баш својим теоријама релативности, указао на барем исто толико важну ствар: да теорије о природи и природним појавама човек не треба да подвргава својим већ стеченим способностима, већ, вођен „необјашњивим" експерименталним чињеницама (какве су, од 1881. године па надаље, донели Мајкелсон—Морлијеви експерименти у погледу непостојања апсолутног простора), да стиче нове квалитете и шире способности схватања.

Уосталом, зашто би човек, и сам део природе, уображавао да је нешто више од самоука, који се, схватајући постепено природне појаве, бори за опстанак и побољшање свога положаја у природи. Великани, као што су били Њутн у XVII веку, Максвел у XIX и Ајнштајн у XX веку, који су ствараоци фундаментално нових теорија, предводници су плејада самоука што продиру у тајне природе. Сваки од њих наилазио је на оштре отпоре, јер су својим теоријама не само објашњавали познате чињенице, већ и предвиђали много тога непознатог, за већину њихових савременика ђаволски чудноватог и непојмљивог. Њих треба

Чланци које доносимо углавном представљају уводна предавања са Симпозијума посвећеног стогодишњици рођења Алберта Ајнштајна, одржаног у Београду 14. и 15. IX 1979. г. прилагођена за шири круг читалаца. Из објективних разлога свеска посвећена овом великану науке излази са закашњењем.

и разликовати од херојски великих разбијача религиозних или политичких догми, чије су и тезе и антитезе биле ипак унутар постојећих способности схватања. Зато, отпори њиховим новим схватањима и нису у толикој мери долазили од догматских силника, колико од једног разноликог састава публике која је највише, можда, била запањена.

Колико је, међутим, Ајнштајн био убеђен да иза исправне физичке теорије стоје реални физички феномени, види се из његовог доприноса у области квантне теорије. Када је Планк (1900) увео појам кванта светлости да би објаснио спектар светлосног зрачења црног тела, владало је мишљење да су кванти светлости измишљени и непостојећи математички објекти, који само служе да се направи погодна теоријска формулација. Ајнштајн је, међутим, у својој теорији фотоефекта (1905), за коју је једино експлицитно и добио Нобелову награду, установио да стварно постојећи кванти светлости избацују електорне из метала. Тако је дао и нови постицај каснијем развоју друге велике теорије века, квантне теорије, која је дело Бора, Шредингера, Хајзенберга и Дирака.

Велико откриће Дираково о постојању античестица, резултат је Дираковe рафиниране примене Ајнштајнове специјалне теорије релативности у квантној теорији. Но, то је само један из низа примера примене Ајнштајнових теорија. Развој нуклеарне физике, чији су резултати довели до револуције у технологији, добрим делом се ослањао на Ајнштајнову формулу о еквивалентности масе и енергије. Трансформација масе у енергију одиграва се се и у нуклеарним реакцијама, као што су фисија и фузија. То је и битан процес приликом рада фисионих нуклеарних реактора, као и експлозијама „атомске" (фисионе) и „хидрогенске" (фузионе) бомбе.

Премда постоје и друге примене Ајнштајнових теорија, управо примена еквивалентности масе и енергије у атомској бомби, изазвала је највеће Ајнштајново кајање и његову највећу недоумицу и грижу савести. Истини за вољу, треба рећи да само познавање еквивалентности масе и енергије не би значило ништа битно за израду атомске бомбе, да није било других великих открића XX века, као што су открића атомског језгра, нуклеарне структуре, нуклеарних реакција и нарочито, да није било открића неутрона, фисије и ланчане реакције, а уз све то и тада већ доста успешне квантномеханичке теорије.

Стручно гледано, дакле, сам Ајнштајн и не би могао да се сматра творцем атомске бомбе. Па ипак, његово писмо Рузвелту, у коме га (на наговор Силарда) упозорава да се атомска бомба може направити и да би је, можда ускоро, могао поседовати Хитлер, манијакални ратни, расни и античовечански злочинац број један XX века, било је, почетком II светског рата, стварни покретач развоја атомске бомбе. Написано у доба покушаја стравичне физичке ликвидације његовог сопственог народа, у доба тортуре и окупације већине европских народа под фашизмом, Ајнштајново писмо је било пре свега акт одбране човечанства. Утолико је његово разочарење било веће када је видео, по оцени већине физичара, непотребну употребу атомске бомбе при самом крају рата, те када је спознао све о страховитим последицма њенога дејства.

Једино што га је могло тешити, у таквој врсти поимања личне одговорности, јесте нешто чему су се надали и други физичари, нарочито већина директних твораца атомске бомбе: да ће њено постојање створити довољно велики страх од рата и тако га спречити. За пацифисту и хуманисту, а Ајнштајн је то био од своје младости, то је била нада довољно велика и недовољно извесна. Истина, данас је могуће уочити да је постојање нуклеарног оружја било крупан фактор у погледу неизбијања новог светског рата, премда су га постојећи антагонизми могли изазвати, спасавајући тако, можда огромне жртве, но још за Ајнштајновог живота, са корејским ратом, почела је серија такозваних локалних ратова конвенционалним оружјем, тако да су Ајнштајнови следбеници у пацифизму, као и хуманизму уопште, у своме добу, у његовим специфичностима, на истим кушњама као и њихов велики претходник.

Но, ван трибалистичких лудости манијакалних ратовођа сваког доба, у целини позитивни развој људске историје највећим је делом ослоњен на оптимизам стваралачкога у човеку. Стваралаштво уопште, а наука посебно снагом откривања нових хоризоната, нових знања и нове технологије, игра битну улогу у променама у корист човека. Зато ће, чак и после много векова, историчари разликовати наше време од других раздобља по жестоким социјалним променама и по раније невиђеном успону науке, у основи највише условљеном освајањем нових граница у физици, а као један од симбола нашег доба остаће да светли име Алберта Ајнштајна..

Примљено октобра 1979.

GIANT OF THE GOLDEN AGE OF PHYSICS

R. Popić

A review is given of Einstein's ideas and contributions to physics.

UDC 530,12:535.1 (021.2)

СВЕТЛОСТ — АЈНШТАЈНОВИМ ОЧИМА

Петар Грујић

Институт за физику, Београд

Можда ниједан феномен у физичком свету није одиграо толико значајну улогу у нашем откривању фундаменталних законитости природе, као што је то био (и остао) случај са светлошћу. То је физичка појава коју толико много данас познајемо, а истовремено толико мало разумемо што јој даје привилегован положај у хијерархији природних појава. Овај раскорак између феноменолошке и концептуалне „слике" светлости био је у извесном смислу моторна снага доброг дела еволуције физике (у модерном смислу), почевши од Њутна са његовом корпускуларном теоријом, преко Максвела и теорије електромагнетног таласа, до Анштајна, који је направио чудну и далекосежну синтезу ова два опонентна модела.

Није потребно бити физичар да би се схватила посебна важност светлости међу физичким појавама, као ни разлог зашто је она била једна од главних преокупација три поменута, свакако највећа, физичара модерног доба. Далеко највећу количину информација човек добија чулом вида. То важи како за наше свакодневно искуство, тако и за егзактне науке — на крају сваког експерименталног процеса срећемо се са визуелним феноменом, у којем је кодирана информација о квантитативним релацијама, везаним било за који природни процес.

Ту и настају наше потешкоће: у непосредном контакту са светлосним појавама, као преносницима информације, како добити информацију о самом „гласнику"? Ми можемо, директно или посредно, да видимо све — осим светлости! Проблем је у многоме сличан оној класичној парадоксалној ситуацији у истраживању процеса људског мишљења: како субјекат може бити истовремено и предмет испитивања? Ако је Декарт разрешио ову антиномију пресецањем Гордијевог чвора (Cogito ergo sum), дакле полазећи од мишљења као *примитива*, може ли се исто поступити у нашем трагању за природом светлости?

Нико у нашем веку није толико допринео обогаћивању наше слике о суштини светлости као што је Ајнштајн, али нико није истовремено толико много извукао из овог физичког феномена, као он. У својим „Аутобиографским белешкама" Ајнштајн пише како је од своје 16. године био заокупљен једним мисленим експериментом, чији му парадоксални резултат није давао мира. Нешто модификована и уопштена верзија овог „посматрања" могла би се формулисати питањем: „Како би изгледао свет посматрача који би се кретао брзином светлости?" Ми ни данас не знамо одговор на ово питање, али знамо да је оно некоректно постављено.

Решење парадоксалне ситуације дао је сам Анштајн 1905. својим првим радом из тзв. Специјалне теорије релативности (С.т.р): нико се не може кретати брзином светлости (у вакууму)! Дакле, пресецање Гордијевог чвора, par excellence. То је управо садржај другог постулата С.т.р. — брзина светлости у вакууму добија апсолутни значај, коначна величина добија атрибуте бесконачног. Као последица овог ,,аподиктичког императива'' релативистичке физике особине простора и времена јављају се ,,у другој светлости'' — увођењем апсолутне брзине (светлости) просторне и временске ,,димензије'' нашег физичког света престају да буду апсолутне (у смислу: непроменљиве). Светлост се, дакле, узима као фундаментални феномен, чија апсолутна брзина, са димензијама: дужина кроз време, диктира природу дужине (тела) и специфични аспект одвијања природних процеса, који схватамо интуитивно и називамо временом.

Са затвореним концептуалним системима је као са људским друштвом — апсолутних владара не може бити више од једног. То се показало и у даљој еволуцији С.т.р., која ће десет година касније бити крунисана Општом теоријом релативности (О.т.р). Ајнштајн ,,уводи у игру'' нову фундаменталну величину — универзалну гравитацију. Простор и време сада добијају два ,,родитеља'': гравитациона сила генерише просторно-временски континуум, светлост га детерминише. Простор постаје ,,искривљен'' јер се у њему светлост не креће праволинијски.

Али као и код свих родитеља, неко мора бити ,,више равноправан од другог''. У случају присуства инерционе масе биће то гравитација, која постаје доминантни партнер; брзина светлости у гравитационом пољу зависи од јачине тог поља. Вакуум је ,,празан простор'' само бесконачно далеко од извора гравитационе силе. Шта више, пробно тело, које одређује искривљеност простора, не мора бити светлост.

У извесном смислу, заслуга за одузимање (у овом контексту) привилегованог места концепта светлости припада самом Ајнштајну, који је својом хипотезом кванта светлости (касније названог фотоном) ,,обукао'' светлост у рухо које је људском искуству много ближе: светлост се сада појављује као сноп ,,честица'', бар у извесним ситуацијама. Круг који је почео са Њутном тако се затворио. А ако је светлост слична ,,обичним корпускулама'', онда су и оне сличне њој, те се могу користити као пробне честице за одређивање особине тзв. (3+1) — димензионог простора Минковског.

Приписивање електромагнетном таласу неких особина обичних честица са инерцијалном масом показало се веома плодотворном идејом (за коју је њен аутор и добио Нобелову награду). Када је Де Брољи изнео хипотезу да се кретање микрочестица покорава законима таласног кретања, он није урадио ништа друго, до обрнуо Ајнштајнов аргумент у супротном смеру. Када је Шредингер најзад, на подстицај Ајнштајна, који му је скрснуо пажњу на далекосежност Де Брољијеве хипотезе, пронашао једначину којој се покорава таласно кретање микрочестица, било је то управо рођење Таласне механике, једне од данас три познате формулације Квантне механике, поред Теорије релативности свакако највећег научног достигнућа нашег века.

Са формулацијом нове, т.зв. Бозе-Ајнштајнове статистике, базиране на неким својствима фотона, Ајнштајн се коначно ,,одужио'' светлости за све оно што му је пружила. Но он је био свестан да је овај феномен непресушни извор нових информација о основама нашег концепта природе. Једном приликом је написао: ,,До краја живота размишљаћу шта је светлост''. А почело је тиме, што је као дечак хтео да се ,,утркује'' са зраком светлости.

Примљено октобра 1979.

LIGHT AS SEEN BY EINSTEIN

P. Grujić

A review of Einstein's ideas about the nature of light is presented.

UDC 53.01 (021.4) : 140.8: 141.132 : 165.63

AJNŠTAJNOVA TRAGANJA ZA CILJEM I METODOM TEORIJSKE FIZIKE

Zvonko Marić

Institut za fiziku, Beograd

U intelektualnom životu centralne Evrope, na prelasku u naš vek, misao austrijskog fizičara i filozofa E. Maha odigrala je u formiranju tzv. „duha vremena" važnu ulogu. Verovatno objašnjenje za to leži u okolnosti da u celom spletu pitanja vezanih za period i nužnost autoriteta, pitanja inače dragog nemačkom duhu, Mahovo delo zauzima onaj krajnji položaj u kome svaki argument protiv autoriteta kao nečeg što je svojstveno prirodi stvari ili protiv njegovog delimičnog ispoljavanja, može biti uzdignut na stepen mogućeg prvog principa. U bilo kom i bilo kakvom teorijskom zasnivanju hijerarhijskog odnosa, Mah je video ili skriven pokušaj ili nesvesnu težnju za opravdavanje autoritativnosti i zahtevao njeno ukidanje. U egzaktnim naukama stalno prisustvo ideje podređenosti leži u naširoko korišćenoj uzročno—posledičnoj zakonomernosti. On je pledirao na zamenu ovog odnosa funkcionalnim vezama, koje su, makar potencijalno, manifestacija egalitarističkih pretpostavki. Njegova misao je rezonirala daleko van sfera fizike i imala je uticaja, između ostalog, na formiranje jedne grane austro-marksizma. (F. Adler, koji, je inače, drugovao sa Anštajnom, pisao je, da se prava potvrda primene marksizma u prirodnim naukama nalazi u Mahovoj teoriji.)

Mahova kritika Klasične mehanike odnosi se, pre svega, na njene osnovne primene: apsolutni prostor, apsolutno vreme i apsolutno kretanje, sve teleološkog porekla u Njutnovoj slici fizičkog sveta. Za Maha one su „konceptualne monstruoznosti". U užem domenu fizike, Mahova se analiza njutnovskog nasleđa svodi na kritiku lajbnicovske orijentacije, tj. na tvrdnje da su prostor i vreme odnosne veličine, sa novinom kojom se traži da se slično određenje primeni i na masu tela, ovoga puta uz kosmološke implikacije.

Posmatrana iz filozofskog ugla ova kritika je usmerena ka transempirijskom karakteru pojma apsolutno. Pri tome, Mah je pažljivo usklađivao kritiku Klasične mehanike sa svojom Teorijom saznanja, koja posmatrana iz našeg vremena, pretstavlja obrazac naivnog empirizma. Ona se zasniva na realnosti čulnih *data* („elemenata"), kao jednoj mogućoj realnosti, i na smanjenju rastojanja između empirijske i teorijske građe na najmanju moguću meru, onoliku, koliko je primenom principa „ekonomije mišljenja" nužno, da se ideje prilagode percepcijama.

Nema sumnje da je dominantna filozofska potka Ajnštajnove „Elektrodinamike tela u kretanju" (1905), i spisa kojima se objašnjava Specijalna teorija relativnosti, mahovske inspiracije u najmanje dva elementa. Prvi se odnosi na tvrdnju da je nemoguće razumeti fundamentalne probleme fizike, specijalno one vezane za protor i vreme, bez jedne epistemološke analize, koja je potom, na primeru pojma jednovremenosti, sva sprovedena u operacionalističkom postupku. Drugi se element očituje u insistiranju na uverenje da je fizički svet sačinjen od prostorno vremenskih „događaja", empirijski određenih, u kojima se odmah prepoznaju Mahovi „elementi".

Međutim, u to isto vreme (oko 1905) i potom (do 1913), u Ajnštajnovim radovima koji se odnose na objašnjenje Braunovog kretanja, na razmatranja o prirodi spektra zračenja crnog tela i na Lorencovu teoriju elektrona, osećaju se drugi metodološki postupci i prisutni su elementi drukčije filozofske orijentacije. Teškoće koje je video u Lorencovoj teoriji elektrona i u celom programu (tog vremena) objedinjenja Mehanike, Elektrodinamike i etra proističu, za njega, iz upotrebe različitih matematičkih formi upotrebljenih pri opisivanju kretanja materijalnih tela

(obične diferencijalne jednačine) i kontinuiranih sredina, tj. elektromagnetnog polja (parcijalne diferencijalne jednačine). Time se indirektno ne naglašava samo potreba za jednistvenim opisom materijalnog sveta . Taj stav uzdiže matematičke relacije i njihov formalni vid na stepen adekvatnih slika prirode stvari i pretpostavlja postojanje jedinstvene suštine iz koje se, teorijskim sredstvima, mogu izvesti uzroci pojavne raznolikosti. Iz studija svojstva svetlosti metodama statističke fizike, koje su dovele do otkrića fotoelektričnog efekta i potvrde kvantne prirode svetlosti, sledi Ajnštanovo davanje prednosti teorijama zasnovanim na uopštenim iskustvenim principima nad teorijama konstruktivnog tipa, kakva je klasična mehanika. Prednost se sastoji u većem bogatstvu, najčešće, nejavnih mogućih posledica i u jednostavnijoj kontroli konzistentnosti. Primer za ovaj tip teorije je Termodinamika. Cela njena građa je niz tvrdnji koje proističu iz saznanja da: toplota nikada ne prelazi sa hladnijeg na toplije telo, ili da je nemoguće postići onu temperaturu u kojoj se sve prostornosti sažimaju u tačku. Ovaj tip iskustva ne spada u klasu čulnih *data*. On je delo jednog saznajnog nasleđa, između ostalog, jedna invarijanta globalnog ljudskog osmatranja sveta. Ovakav niz stavova je već daleko od duha Mahovog programa. Veze teorijskih iskaza sa eksperimentalnom praksom nisu ni neposrede ni jednoznačne.

Pojava Opšte teorije relativnosti (1913—1916) nije rezultat razrešenja bilo koje eksperimentalne dileme. Ona je proistekla iz misaone potrebe da se princip relativnosti proširi i na neinercijalne sisteme. Ajnštajn je zasnovao ovu teoriju, u dalekoj analogiji sa Termodinamikom, na jednom „sveopštem" iskustvu: na jednakosti teške i gravitacione mase, tj. na jednakosti ponašanja tela u ubraznim sistemima i u gravitacionom polju. Bogatstvo posledica je neočekivano veliko. Ne samo da se iz ovog koncepta mogu dobiti svi efekti koje znamo u Njutnovoj teoriji gravitacije, nego se mogu predvideti i novi, danas već eksperimentalno potvrđeni. Još više: bez nje nije lako zamislivo zasnivanje modernih predstava o svemiru.

U epistemološkom pogledu, Opšta teorija relativiteta predstavlja značajno poglavlje u dugačkoj istoriji pitanja mesta geometrijskih, i u širem smislu, klasično-logičkih iskaza u teorijama empirijskog sadržaja. Na početku veka, D. Hilbert i A. Poenkare su pokazali kako se može graditi geometrija kao čista misaona tvorevina. Međutim, primena njih „slobodnih konstrukcija ljudskog uma", u fizici na primer, svodi se na nejasno određene primenljive" i „neprimenljive" konvencije. Ajnštajnovo određivanje geometrije „u pravom", kao geometrije svetlosnog zraka, i geometrije „u krivom", kao geometrije povijanja svetlosnog zraka u gravitacionom polju, ukazuje na mogućnost izbora geometrije, tj. logičkog okvira, načinom kojima se postiže usaglašavanje (imenica izvedena iz trajnog glagola) sa observiranom realnošću. U tom slučaju, logički iskazi gube čvrstinu koju imaju unutar čisto deduktivnog metoda i postaju onoliko neizvesni koliko su neizvesni iskazi empirijskih nauka. Ova uzajamna igra teorijskog koncepta i njenog formalnog jezika s jedne strane, i njihov presek sa mernim datama s druge strane, dala je značajna podstrek filozofskoj misli našeg vremena. Na njenom primeru građen je logički empirizam M. Šlika i R. Karnapa. Ona je služila za uzor E. Kasireru, K. Poperu i H. Patnamu u teorijskim disciplinama koje za njihova imena vezujemo.

Posle Opšte teorije relativiteta, Ajnštajn je usredsredio svu pažnju na realizaciju svoga programa unifikacije fizičke slike sveta na bazi Klasične teorije polja, sa izuzetkom jednog, za gnoseološka pitanja, značajnog odstupanja. Reč je o njegovoj diskusiji sa N. Borom oko pitanja kompletnosti Kvantne mehanike. Toj diskusimji dugujemo strogu formulaciju elemenata fizičke realnosti u Ajnštanovoj verziji. On nije prihvatio tvrdnju da se u kvantnim zakonima, karakterističnim za mikrosvet, iscrpljuje ceo njegov fizički sadržaj. Borov prevod kvantnih zakonitosti na saznajno-teorijski jezik građen je na intelektualnom nasleđu J. Hefdinga i S. Kjerkegora. Uz atmosferu koja se stvara oko tvrđenja da sistematsko znanje o svetu oko nas nije moguće, Kvantna mehanika se bavi, u strogom smislu, akauzalnim promenama stanja fizičkih objekata, intepretiranih računom verovatnoće. Slučajnost se tako uzdiže na nivo zakonomernosti. Pri tome, u Teoriji merenja, ostavlja se mogućnost, da u studiji fizičke realnosti, ljudska svest igra ulogu

njenog neodvojivog dela. Ajnštajn (1920—1955) je smatrao za potrebno da stalno ukazuje na značaj premise kojom se izražava realnost fizičkog sveta nezavisno od akta posmatranja, nezavisno od toga na kojim se prostorno-vremenskim dimenzijama fizički proces odigrava i nezavisno od bilo kog zaključka koji može slediti iz razmatranja o ograničenosti ljudskog uma, posledično iz čovekovog položaja u svemiru.

Svoj pogled na sadržaj i uzajamnu vezu komponenata koje sačinjavaju istraživanje materijalnog sveta, Ajnštajn je izložio u jasnoj formi u jednom predavanju u Oksfordu (1933). „Osnove teorijske fizike ne mogu se izvesti iz eksperimenta. One su čiste invencije". Iz mnoštva mogućih, značajne su one koje zadovoljavaju kriterijum matematičke jednostavnosti, pre svega. Nalaženje takve forme označava da je nađen i onaj ugao iz koga se uočava inherentna harmonija materijalnog sveta. Pri tome harmonija je sinonim za potpunu zakonitost, a kauzalnost njena obavezna pojavnost. Svakako, eksperimentalnoj praksi, „i jedino njoj", ostaje zadatak potvrde valjanosti koncepta, ako se ona shvati kao ukupnost eksperimentalnih posledica izvedenih iz teorijskih osnova, u potpunoj konzistentnosti.

Ovo mišljenje je u potpunoj suprotnosti sa filozofskim stavovima kojima je inspirisana Specijalna teorija relativiteta. Ono, takođe, znači i odstupanje od ideje elastičnih veza između teorije i eksperimenata, koje karakterišu filozofsko osenčenje Opšte teorije relativiteta. Očigledno je, da je, uz nužnu promenu rečnika, njegov konačni filozofski izbor, racionalizam B. Spinoze iz I glave „Etike".

Na kraju svih svojih filozofskih hodočašća, Ajnštajn je, u jednom spisu, koji je štampan (1929) u knjizi posvećen A. Stodoli o cilju Teorijske fizike napisao: „U Teorijskoj fizici dolaze do izražaja dve naše vrle želje. Ona treba da prikupi sve značajne fenomene i da nam pomogne ne samo da shvatimo *kakva* su svojstva Prirode, i *kakvi* se procesi događaju, no i da seže, koliko je dalja moguće, ka cilju, koji je možda utopijski i koji izgleda drzak, a koji se sastoji u poimanju *zašto* je Priroda upravo ovakva, a ne drukčija. . . U tome leži prometejski element naučnog iskustva."

Primljeno oktobra 1979.

EINSTEIN'S SEARCH FOR THE GOAL AND THE METHOD OF THEROTICAL PHYSICS

Z. Marić

A review of Einstein's phylosophical ideas in theoretical physics, his search for ultimate goal and method of physicsl is presented.

UDC 530.12 : 531.422 : 531.6 (021.2)

$E = mc^2$

Vladimir Zlatarov

Institut „Boris Kidrič", Vinča

1905. godine Ajnštajn je analizirajući stanje u fizičkoj nauci u cilju usklađivanja postojećih fizičkih teorija i eksperimentalno otkrivenih zakona uveo nova, revolucionarna po svojim posledicama shvatanja o prostoru i vremenu. Dotadašnja shvatanja prostora i vremena potiču iz perioda nastanka fizike kao nauke, od osnovnih radova Galileja i Njutna, i u nepromenjenom obliku važila su tokom nekoliko vekova.

Njutnova mehanika, kao osnova mnogim budućim fizičkim teorijama, sadrži u sebi pretpostavku apsolutnosti vremena. Tačnije, za sve posmatrače, ili kako se to kaže sisteme reference, vreme protiče podjednako, što se može ilustrovati tvrdnjom da je interval vremena između dva fizička događaja nezavisan od toga koji ga posmatrač meri. Ako su posmatrači van uticaja bilo

kakvih sila, onda se oni međusobno kreću konstantom brzinom, a njihove skupove aparata za određivanje vremena i položaja nekog fizičkog događaja zovemo inercijalnim sistemima reference. Uvođenje pojma inercijalnog referentnog sistema u fiziku je bilo neophodno, jer se u njima kretanje može najjednostvanije opisati. Šta više, za takve sisteme reference opisivanje bilo kog mehaničkog kretanja (vidi Njutnov zakon) ima istu formu. Ovaj iskaz pretpostavlja takozvani Galilejev princip relativnosti. Nije ni čudo da je pretpostavka o apsolutnosti vremena preživela, tako dugo, ako se uzme u obzir da su sve fizičke pojave svođene na mehanička kretanja.

U drugoj polovini 19 veka, nastankom zatvorene teorije elektromagnetskih pojava, posebno prostiranja svetlosti (Maksvelova teorija), princip relativnosti dolazi u pitanje pošto nije u skladu sa elektromagnetskom teorijom prostiranja svetlosti. Nesimetričnost Maksvelovih jednačina u raznim inercijalnim sistemima reference daje mogućnost za izdvajanje jednog od njih (pojam etra) u kome bi zakoni kretanja imali najjednostavniji oblik.

S druge strane, ogled Majkselona—Morlija, ubedljivo dokazuje da brzina prostiranja svetlosti ne zavisi od brzine kretanja samog izvora svetlosti. Tačnije, nema preferentnog referentnog sistema! Situacija je razrešena korenitim izmenama u shvatanju protora i vremena. Princip relativnosti je ovime obuhvatio sve fizičke pojave, ali je s time uveo relativnost prostorno-vremenskih relacija u posmatranju fizičkih procesa. Ova teorija dobila je naziv Specijalna teorija relativnosti.

Neposredno posle otkrića da osobine prostora i vremena ne odgovaraju postulatima Njutnove mehanike, Ajnštajn je otkrio da se i neki osnovni pojmovi i zakoni mehanike moraju preformulisati. To se pre svega odnosi na masu kao meru inercijalnosti fizičkog sistema, tj. meru promene kretanja (ubrzanje) pod dejstvom sile. Naime, iz Njutnovog zakona o sili sledi da čestica veće mase dobija manje ubrzanje (i obrnuto) pod dejstvom sile iste jačine. I još, ova mera inercijalnosti (masa) je po Njutnu nepromenljiva za datu česticu bez obzira na brzinu njenog kretanja u odnosu na posmatrača, tj. ona je inherentna karakteristika fizičkog objekta. Za ovako shvaćenu meru inercijalnosti važio je odgovarajući zakom njenog održanja. Tačnije, za neki mehanički sistem suma masa čestica iz kojih je on sastavljen ne menja se u vremenu ma kakva kretanja ona pri tom vrše.

Prosledimo, ukratko (i bez formula), primer ili misaoni eksperiment koji je Ajnštajn razmotrio u svom radu. Uzmimo telo nepokretno u odnosu na nekog posmatrača (koga ćemo označiti sa K) i pretpostavimo da ono izrači istovremeno u suprotnim pravcima dva svetlosna zraka istih energija. Telo će posle izračivanja u odnosu na posmatrača K ostati u miru sa umanjenom energijom koju odnosi zračenje. Ako taj isti fizički proces gleda drugi posmatrač (označavamo ga sa M) koji se u odnosu na telo i posmatrača K kreće nekom brzinom u pravcu jednog od emitovanih zrakova uočiće, što je u saglasnoti sa pretstavama o energiji svetlosnog zračenja, da oba svetlosna zraka nemaju iste energije. Koristeći pri tom vrednosti energije za svetlosne zrake izračunate na osnovu predstava o vremenu i prostoru koje zahteva teorija relativnosti, i zakon održanja energije, dobija se interesantan rezultat. Naime, kinetička energija tela je umanjena, iako, telo nastavlja da se kreće istom brzinom! Sledi, da je telo izgubilo deo svoje mase koji je proporcionalan izračenoj energiji.

Ovime je nedvosmisleno pokazana zavisnost mase kao mere inercije fizičkog objekata od energije koja je sadržana u tom objektu. Šta više, zakon održanja mase direktno sledi iz zakona održanja energije, a ne kao poseban zakon održanja. Ako posmatramo neku česticu u kretanju i njoj identičnu u miru, možemo konstatovati da će zbog veće energije koju poseduje čestica u kretanju i masa biti veća, pa prema tome masa, nasuprot Njutnovoj mehanici, neće biti inherentna samoj čestici, već će zavisiti i od brzine kretanja same čestice.

Navedimo dva primera iz daljeg razvoja fizike koji direktno potvrđuju tačnost ove formule. Poznato je da naelektrisane čestice (na primer, elektroni) skreću pod dejstvom električnog i magnetskog polja. Skretanje zavisi od inertnosti same čestice tj. njene mase. Izmerena veličina skretanja nepobitno je potvrdila da inertnost date čestice zavisi ne samo od njoj inherentne mase nego i njene brzine, u potpunomj saglasnosti sa formulom $E = m(v)c^2$.

Drugi primer se odnosi na direktno merenje mase jezgra u tzv. masenim spektrometrima, u kojima se takođe deluje elektromagnetnim poljem na naelektrisana jezgra i meri njihovo skretanje. Ustanovljeno je da sva poznata jezgra poseduju masu (preračunatu za jezgro u miru) manju od zbira masa (isto tako posmatranih u miru) protona i neutrona od kojih je to jezgro sastavljeno. Taj „defekt" mase u potpunoj je saglasnosti sa relacijom $E = mc^2$, jer stabilan sistem ima manju energiju nego što bi imao ako bi ga rastavili na njegove sastavne delove.

Napomenimo da se pri malim brzinama dostupnim ljudskim čulima relativistička mehanika svodi na Njutnovu mehaniku sa tačnošću da ni najsavremeniji aparati eventualna odstupanja ne bi mogli otkriti. Time se može objasniti činjenica viševekovnog vladanja Njutnove mehanike.

Ajnštajnova formula odigrala je u daljem razvoju fizike neprocenjivu ulogu. Posebno se to odnosi na prodor fizike u mikro svet i tumačenje njegove strukture. Bez ove formule ne bi se mogli shvatiti mnogi procesi među elementarnim česticama, kao ni procesi u nuklearnim reakcijama, na kojima danas bazira celokupna nuklearna energetika. Takođe, mnogi pojmovi savremene fizike, kao na primer *antičestica,* duguju svoj nastanak ovoj formuli.

Primljeno oktobra 1979.

$E = mc^2$

V. Zlatarov

Energy—mass relation, its significance and application is reviewed.

UDC 530.145 (091) (021.3)

РАЗВОЈ ОСНОВНИХ ИДЕЈА КВАНТНЕ МЕХАНИКЕ

Федор Хербут

Одсек за физичке и метеоролошке науке
Природно-математичког факултета, Београд

Године 1905. десило се нешто незапамћено у историји објављивања научних резултата. У једном познатом немачком стручном часопису појавила су се три рада која је написао службеник швајцарског патентног уреда у Берну, млад и непознат физичар, Алберт Ајнштајн. У сва три рада изложена су епохална открића која ће одмах да вину аутора у орбиту највећих физичара нашег века.

Један од поменутих радова био је посвећен хаотичном Брауновом кретању ситних честица које лебде у води. Суштина ове појаве је у отступањима од статистичких законитости у понашању молекула. Ајнштајнов прилог је битно допринео тешкој победи статистичке термодинамике, науке о топлотним појавама. Други прилог, најславнији Ајнштајнов рад, открио је свету специјалну теорију релативитета. Ни један од ова два рада нећемо даље разматрати; навели смо их само ради указивања на изузетну ширину Ајнштајновог стваралаштва.

Трећи прилог био је посвећен једном квантном проблему. Да би разумели о чему се ради, морамо се вратити на сам почетак века. 1900. године Макс Планк је дошао до запањујућег открића да се закони зрачења, познати из искуства, могу теоријски тачно описати само ако се уместо непрекидног израчивања и апсорпције електромагнетне енергије (како је налагала класична физика) претпостави да физички системи (атоми и молекули) зраче и апсорбују тзв. кванте (одређене порције) енергије. Идеја да се енергија зрачења на тај начин понаша попут честица је бљеснула као варница и одмах се угасила. У свом поменутом трећем раду 1905 године Ајнштај је показао да исти идеја кванта (или фотона како их данас зовемо) објашњава до најмањих танчина још једну чудну појаву: фотоелектрични ефекат.

(Данас се овај ефекат често користи да се врата ,,сама'' отварају кад пресечемо невидљиви инфрацрвени зрак који затвара електрично коло.)

Сам Планк није уопште био спреман да озбиљно схвати замисао кванта енергије. Чак и десет година после објављивања Ајнштајновог рада о фотоелектричном ефекту Планк је писао да је Ајнштајн са својом хипотезом светлосних кванта премашио свој циљ, али да је то привилегија генија. Можда баш због тога, често се сматра да је Ајнштајн био први који је схватио дубоки смисао кванта.

Мада се значај Ајнштајновог поменутог непосредног доприноса развоју основних идеја квантне механике не може умањити, постоји оправдана сумња да ни Ајнштајн није тада у довољној мери осетио епохалност идеје кванта. Наслов његовог рада о теорији фотоелектиричног ефекта је гласио .,О једном хеуристичком гледишту у вези са стварањем и трансформацијом светлости''. То ,,хеуристичко гледиште'' су били кванти. Осим тога, док је специјална теорија релативитета одмах тријумфовала, морало је проћи још читавих двадесет година да би Луи де Брољи, Ервин Шредингер и плејада других великих физичара поново пошли од идеје кванта и за непуну деценију исковали нову грану физике, квантну механику. Тешко је веровати да је ових двадесет година морало проћи упркос Ајнштајновој вери у значај кванта, тим пре што је он тада доминирао светском сценом водећих физичара. Пада у очи и чињеница да иако је Ајнштајн у теорији релавитета (специјалној и општој) осећао јак порив да сам понесе сав терет стварања нове гране физике, у теорији кванта он је стао на фотоелектричном ефекту и није даље прослеђивао важне последице Планковог открића (а од његовог генија би очекивали да је могао да их наслути). Кратко речено, иако је Ајнштајнов директни допринос развоју квантне механике био од несумљиво великог значаја, његова достигнућа на том пољу и нису тако велика каква су могла да буду с обзиром да се ради о физичару ствараоцу изузетног формата.

Намеће се питање зашто од самог почетка Ајнштајн није био довољно пријемчив за струјања нових идеја која су започела Планковим открићима фотона. Мало касније покушаћемо да дамо одговор на ово питање.

Када су Бор, Хајзенберг, Паули, Борн и други чланови тзв. Копенхагенске школе мишљења најзад уобличили нову дисциплину, квантну механику, Ајнштајн се нашао у потпуној опозицији према њима. Он није оспоравао ни један експериментално проверен исказ квантне механике, већ је имао сасвим другачије мишљење о основама на којима та теорија почива.

Као што је познато, квантна механика је статистичка теорија, што ће рећи да у општем случају не претсказује да ли ће се нека квантна појава да се деси или не, већ само даје вероватноће. Оне се експериментално проверавају на тзв. ансамблима, тј. на великиом мноштву идентично припремљених квантних система. Намеће се питање одакле потиче неизвесност коју премошћује статистика; зашто и у квантној механици немамо строго једнозначне законе нужности као у класичној физици. У одговару на ово питање су се потпуно разишла мљења Ајнштајна и Копенхагенске школе.

По Ајнштајну у основи свих природних појава леже неумитни закони нужности, али треба времена да се они докуче. Квантна механика је по његовом мишљењу, била само претходница дубље физике квантних појава, у којој неће бити вероватноћа. При томе Ајнштајн се ослањао на једно велико искуство физике: сва неизвесност у класичној статистичкој физици потицала је од непотпуног познавања система (на пример о гасу који садржи рецимо, 10 молекула знамо само температуру, запремину и притисак). Ова се неизвесност може у принципу у потпунлсти отстранити ако се довољно изоштре и употпуне физичка мерења на систему. Тада статистичност исчезава и преостају само закони нужности класичне физике.

Насупрот Ајнштајну, Бор и његови следбеници су сматрали да је квантно-механичка неизвесност несводива на законе нужности, да је она суштинска одлика појава и чим пре физичари прихвате ово ново сазнање тим ће бити боље за даљи напредак квантних идеја. По њиховом мишљењу Ајнштајново став је био, упркос гигантским димензијама његове стваралачке присутности у модерној физици, реакционаран. Међутим, ако гледамо критички тешко им можемо дати за право. Несводивост квантне неизвесности на законе нужности ни издалека није била утврђена чињеница, а лично мишљење бројних присталица Бора није могло да замени експериментални или теоријски доказ. (Или, како кажу да је Ајнштајн једампут рекао, истина се у физици не утврђује пребројавањем гласова.)

Велики Ајнштајнов посредни допринос развоју идеја квантне механике састоји се управо у томе што је својим критичким ставом приморао (и још и данас приморава) квантне физичаре да потраже доказе за своја веровања. При томе је мање важно што, како данас изгледа, ипак је Копенахгенска школа била у праву, квантна неизвесност је изгледа несводива и представља суштинску особину квантних појава.

Изложена опрека мишљења о несводности квантне неизвесности није могла бити разлог Ајштајновог потсвесног одупирања квантним идејама. Али разлог за то може да се нађе у једној другој чињеници. Још 1935. године Ајнштајн и два сарадника открили су тзв. дистантне квантне корелације. Оне су, по њиховом мишљењу, отвориле пут за доказ сводивости квантне механике на законе нужности и то у оквиру строго локалне Ајнштајнове слике света. По њој промена се може пренети из једне тачке простор-времена у другу само кретањем сигнала чија брзина не премашује брзину светлости. То је механизам сваке интеракције по Ајнштајну, а интеракција је по дефиницији узрок промене. Нема никакве тренутне повезаности удаљених појава.

Морало је да прође скоро 40 година да се Ајнштајнове идеје о дистантним корелацијјама конкретизују и постану експериментално проверљиве. Мада данас постоје још нека мала неслагања међу физичарима, изгледа да је скоро са сигурношћу експериментално утврђено да природа каже „не": квантна механика не може бити заснована на законима нужности у оквиру поменуте Ајнштајнове локалне преставе о свету. Квантна слика света, изгледа, садржи неке црте целинског, тренутно повезаног, што се тиче удаљених квантних објеката који су интераговали у прошлости и више не интерагују. Ове нове идеје су у неизбежној појмовној контрадикцији са Ајнштајновом вером у универзално важење локалности, која је проистекла из теорије релативитета. Можда је баш наслућивање оваквог развоја догађаја био први Ајнтајнов разлог за његово одупирање, којим је ипак учинио велику услугу развоју основних квантних идеја.

Многи физичари данас верују да квантна механика списује целину удаљених феномена на један нов, за сада још недовољно разумљив начин, и да је то веома значајно за даљи развој квантне физике. У многим светским центрима врше се веома сложена експериментална и теоријска истраживања и у овој потрази за новим сазнањима и београдски физичари дају свој скроман допринос. При томе утицај Ајнштајнових далекосежних мисли је стално присутан

Примљено октобра 1979.

DEVELOPMENT OF THE BASIC IDEAS OF *QUANTUM* MECHANICS

F. Herbut

A review of Einstein's influence on the development of Quantum mechanics is presented.

UDC 530.12 (021.2)

PROSTOR, VREME I VASIONA

Milutin Blagojević

Laboratorija za teorijsku fiziku Instituta „Boris Kidrič", Vinča

Fizika je, kao i svaka druga nauka, zasnovana na merenjima. Mnogi smatraju da je fizika nastala pre 350 godina, kada je Galilej izvršio prve eksperimente pri izučavanju ubrzanog kretanja tela. Za opisivanje procesa kretanja, koji predstavlja osnovu savremene fizike, potrebno je da znamo da odredimo promenu položaja tela u prostoru u toku vremena. Kako se određuju položaj i vreme nekog događaja?

Položaj materijalne tačke (to je fizičko telo idealno malih dimenzija) u prostoru se može odrediti koristeći, naprimer, Dekartove koordinate (x, y, z) te tačke. Smisao ovih koordinata je u sledećem. Zamislimo tri međusobno normalne i orijentisane prave linije (idealizacija jako tankih štapova) koje prolaze kroz jednu zajedničku tačku — koordinatni početak. Ove linije su vezane za neko materijalno telo, npr. za Zemlju. Dekartove koordinate tačke nam pokazuju za koliko jediničnih dužina, npr. metara, treba da se pomerimo duž jedne, zatim duž druge i na kraju duž treće linije, pošavši od koordinatnog početka, da bismo došli do položaja date tačke u prostoru. Vrednosti koordinata (x, y, z) se na ovaj način mogu i odrediti, i imaju sasvim jasan fizički smisao. Određene koordinatne linije, zajedno sa koordinatnim početkom, čine određen prostorni koordinatni sistem.

Kako se meri vreme nekog događaja?

„... Sva naša razmatranja, u kojima vreme igra neku ulogu, uvek su razmatranja o istovremenim događajima" (Ajnštajn). Ako npr. kažemo da voz kreće sa stanice u sedam sati, to ustvari znači da su polazak voza i pokazivanje male kazaljke mog časovnika na cifru sedam istovremeni događaji. Ovakvo određivanje vremena nekog događaja je dobro ukoliko se mesto odigravanja događa i položaj časovnika (približno) poklapaju; to u prethodnom primeru znači da se ja zajedno sa časovnikom nalazim na stanici u trenutku kad voz kreće, pa mogu neposrednim posmatranjem da utvrdim da su polazak voza i pokazivanje male kazaljke moga časovnika na cifru sedam istovremeni događaji. Šta će biti ako se neki drugi posmatrač sa nekim drugim časovnikom nalazi na mestu koje je od stanice udaljeno recimo nekoliko kilometara, i želi da na svom časovniku odredi vreme polaska voza? Pošto se ne nalazi na stanici, njemu u trenutku polaska voza treba poslati neki signal (svetlosni, zvučni i sl.), koji će on primetiti posle izvesnog vremena. Ako njegov časovnik pokazuje sedam sati i pet sekundi u trenutku kada je primio signal o polasku voza, a on zna da signal od stanice do njega putuje pet sekundi, onda će i on reći da je voz krenuo u sedam sati. Tako se, putem prenosa signala, može odrediti i vreme udaljenog događaja. Pošto je udaljeni posmatrač zaključio, uzimajući u obzir vreme putovanja signala, da je voz krenuo u sedam sati, što se slaže sa onim što je posmatrač na stanici video na svom časovniku, kaže se da je udaljeni časovnik sinhronizovan sa časovnikom na stanici.

Da bi dva udaljena časovnika A i B bila jednoznačno sinhronizovana, nužno je da brzina upotrebljenog signala pri kretanju od A do B bude ista kao i pri kretanju u obratnom smeru. S druge strane sinhronizacije treba tako da se izvrši da brzina svetlosti, kad se meri uz korišćenje tih časovnika, bude apsolutna konstanta, nezavisna od kretanja koordinatnog sistema (to je eksperimentalna činjenica s kojom teorija mora da bude u skladu). Da bi se to postiglo, najprostije je kao signal za sinhronizaciju koristiti svetlosni signal, čime se automatski u teoriju uključuje zahtev o konstantnosti brzine svetlosti.

Koristeći svetlosni signal možemo u datom koordinatnom sistemu sinhronizovati skup časovnika A, B, C... koji se nalaze raspoređeni svuda u prostoru, i u relaitivnom su mirovanju. „Sveukupnost pokazivanja svih tih časovnika, koji se jedan s drugim nalaze u fazi, i jeste ono, što mi nazivamo fizičkim vremenom" (Ajnštajn).

Prema toj definiciji, merenje vremena ima smisla samo u odnosu na koordinatni sistem u određenom stanju kretanja. Ako su dva događaja istovremena u nekom sistemu K, niotkuda ne sledi da će oni biti istovremeni i u sistemu K' koji se kreće konstantnom brzinom u odnosu na K. U tome i jeste smisao relativnosti vremena. Do pojave teorije relativnosti neopravdano se smatralo da je vreme apsolutno, tj. nezavisno od stanja kretanja referentnog sistema.

Koristeći izloženi način određivanja položaja i vremena nekog događaja, iz teorije relativnosti se mogu izvesti neki zaključci koji izgledaju jako čudni sa gledišta našeg svakodnevnog iskustva.

1. Relativnost istovremenosti. Neka su dve munje udarile u dve bandere pored pruge, i to istovremeno sa gledišta posmatrača na Zemlji. Za posmatrača u vozu koji se kreće prugom ova dva događaja nisu istovremena: ako se on nalazi na sredini između dve bandere u onom trenutku „zemaljskog" vremena kad su munje udarile u bandere, on će prvo videti munju ispred sebe.

2. Paradoks časovnika. Časovnici koji se kreću usporavaju svoj hod sa gledišta „nepokretnog" referentnog sistema. Ako bi se pokretni časovnik kretao izvesno vreme konstantnom brzinom, a zatim stao i vratio se istom brzinom nazad, položaj njegovih kazaljki bi se mogao uporediti sa položajem kazaljki onog časovnika koji je celo vreme mirovao. Rezultat bi bio da pokretni časovnik pokazuje manje proteklo vreme. Zaključak bi bio isti ako bismo umesto časovnika posmatrali žive organizme: onaj organizam koji se kretao ostario bi manje od onog koji je mirovao. „To je neizbežna posledica naših principa do kojih smo došli putem eksperimenata" (Ajnštajn).

3. Kontrakcija dužina. Dužina pokretnog štapa koju meri posmatrač u miru manja je nego dužina tog istog štapa kad se ne kreće u odnosu na posmatrača. Prostorni odnosi nisu više apsolutni, već zavise od načina kretanja posmatrača.

Dosada smo uglavnom govorili o merenju prostora i vremena. Kakva je veza između ovih merenja i geometrije? Geometrija se zasniva na određenima pojmovima (tačka, prava, ravan) i na nekim jednostavnim iskazima (aksiomama)o vezi ovih pojmova. Pitanje o istinitosti određenih geometrijskih iskaza se svodi na pitanje o „istinitosti" aksioma. Ovo pitanje nema smisla u okviru same geometrije. Geometrijski pojmovi odgovaraju manje ili više objektima u prirodi, od kojih su apstrakcijom i nastali. Ako se osnovnim pojmovima geometrije prida određen fizički smisao, ako se oni povežu sa realnim objektima, onda pitanje o „istinitosti" geometrijskih iskaza postaju pitanja fizike, tj. pitanje tačnosti između odgovarajućih fizičkih objekata. Otuda veza fizičkih merenja i geometrije prostora (ili prostora—vremena).

Uopštavanjem prethodnih razmatranja na ubrzane koordinatne sisteme, i uključivanjem efekta gravitacije, nastala je opšta teorija relativnosti. U okviru ove teorije nastala je, prvi put u istoriji nauke, mogućnost da se govori o geometriji cele Vasione. Naučna misao se vinula u neslućene visine, u oblast koja je do tada bila rezervisana za maštu, nagađanje ili verovanje.

Primljeno oktobra 1979.

SPACE, TIME AND UNIVERSE

M. Blagojević

A review of Einstein's ideas about space and time is given.

UDC 53 (091) + 530.1.01 (047) (082.2)

SIMPOZIJUM POSVEĆEN STOGODIŠNJICI ROĐENJA ALBERTA AJNŠTAJNA

Borivoje Jovanović

Gimnazija Bos. Gradiška

U Beogradu, u Narodnoj biblioteci, održan je 14. i 15. IX 1979. simpozijum pod nazivom „Prisustvo misli Alberta Ajnštajna u savremenoj fizici„. Simpozijum je imao opštejugoslovenski karakter sa blizu dvesta učesnika. U ta dva dana čuli smo 34 referata i stotinu diskusija! Radilo

se od 9 do 20 časova sa prekidom za ručak. Bio je to zgusnut, produktivan rad. Aktuelnost tematike i konciznost njerog izlaganja nadvaladali su zamor. Suvereno vladanje referenata problematikom unosilo je i održavalao živost i svežinu među učesnike.

U rezultatu simpozijuma istakli su se sledeći bitni momenti: 1) rasvetljeni su naučno—istorijski uslovi koji su stvorili put za pojavu Ajnštajnovih teorija, 2) istaknuto je šta je Ajnštajn uspeo da reši u nauci i kakve je nove perspektive otvorio za razvoj fizike, 3) neizbežno prisustvo Ajnštajnovih učenja u savremenoj fizici, 4) postojanje prilično brojne i mlade grupe jugoslovenskih teorijskih fizičara (naročito u Beogradu).

Simpozijum je otvorio prof. dr Aleksandar Milojević uvodnim izlaganjem u kome je istakao važnost Ajnštajnovog stvaralaštva i potrebu za održavanjem ovakvog simpozijuma, kojim bi se obeležila stogodišnjica rođenja genija Ajnštajna. Zatim je podsekretar Republičkog sekretarijata za nauku, obrazovanje i kulturu dr Nikola Vučenov pozdravio učesnike seminara i istakao je ulogu nauke u razvitku ljudskog društva. U ime organizatora prisutne je pozdravio dr. Đorđe Jović iz Republičke zajednice za naučni rad. Akademik dr Tatomir Anđelić je otvorio prigodnu izložbu (fotografije, knjige, časopisi) u auli Narodne biblioteke.

Tog prvog prepodneva glavno izlaganje je pripalo dr Zvonku Mariću. On je govorio o Albertu Ajnštajnu kao stvaraocu, praveći jezgrovit, sistematski presek kroz fizičke nauke od polovine 19. veka do naših dana. Polazna osnova u izgrađivanju Ajnštajnovog svhvatanja jeste veza između termodinamike i mehanike, a zatim Lorenc—Maksvelova elektrodinamika, Mahovo tumačenje inercije, objašnjenje zračenja crnog tela, itd. Mladi Ajnštajn smelo iznosi svoje poglede, principe i teorije: objašnjava fotoelektrične pojave rušeći dualizam čestica—polje, razvija Specijalnu teoriju relativnosti, a nešto kasnije Teoriju gravitacionog polja koja obuhvata studiju mase i studiju veze geometrija i tela. Po Ajnštajnu osnova fizičkih nauka može biti samo gravitaciono polje i uvodi jedinstvo prostor—vreme, čime iz osnova menja shvatanja u fizici i kosmologiji. Ajnštajn je do kraja života težio da objedini elektromagnetsko i gravitaciono polje. Dr Marić na kraju ističe inplicitnu ulogu A. Ajnštajna u stvaranju kvantne mehanike i objašnjava odnos Ajnštajna i drugih fizičara, a posebno Bora, jednog od korifeja fizike dvadesetog veka.

I drugog dana je pre podne bilo ispunjeno preglednim predavanjima koja su se odnosila na razvitak i suštinu najznačajnijih Ajnštajnovih teorija. Tu spadaju izlaganja: dr Marko Leko: „Specijalna teorija relativiteta", dr Milutin Blagojević: „Opšta teorija relativiteta" i dr Đorđe Živanović: „Problemi relativističke kosmologije". U ovoj etapi rada se razvila najživlja diskusija, naročito o pojmu prostor—vreme, gravitaciji i modelima Vasione, što se moglo i očekivati, pošto su ovo bila i ostala otvorena pitanja fizike.

Oba poslepodneva su pripadala radovima naših teoretičara, koji su bili orginalni doprinosi u rešavanju problema vezanih za Ajnštajnove teorije.

Na teoriju gravitacije i unifikaciju gravitacionih i elektromagnetskih polja se odnose radovi: Unifikacija fizičkih interakcija (Đ. Šijački), Poincare-gradijentna invarijantnost i teorija gravitacije (M. Blagojević Đ. Živanović), Hamiltonijanska formulacija gravitacije kao gradijentno invarijante teorije (D. Popović, I. Nikolić), Afina gradijenta teorija gravitacionih interakcija elementarnih čestica (Đ. Šijački), Moguće interackije fotona i anomalni crveni pomak (B. Dragović, Z. Marić, D. Popović), Jedan mogući mehanizam crvenog pomaka (P. Grujić), Zemljotresi kao moguća posledica poremećaja metrike prostor—vremena (S. Selak), Hipotetični raspad protona iz unificiranih teorija polja kao osnova mehanizma proizvodnje kosmičkih električnih polja (R. Popić). U ovoj tematici posebno interesovanje su pobudila izlaganja Selaka i Popića. Selak pojavu zemljotresa povezuje sa poremećajima prostorno—vremenske metrike, što je posve nov pristup, jer su ranije potresi tumačeni isključivo geološkim procesima. U radu R. Popića se obrazlaže mogućnost raspada protona određenih energija i da taj proces u Vasioni traje, što je novina, jer se za proton smatralo da je posve stabilna čestica.

Na Specijalnu teoriju relativnosti se odnose radovi: Eksperimentalna provera neutralnosti atoma i granice valjanosti STR (R. Popić), „Paradoks" poluge u STR (J. Strnad), Spec. teorija

relativnosti sa one strane brzine svetlosti. (J. Strnad), Relativne kinematičke veličine i neke njihove primene u relativnosti (I. Lukačević).

Treću grupu čine radovi iz kvantne mehanike, To su: Kvantna statistika (Lj. Dobrosavljević), Konceptualne osnove kvantne mehanike (F. Herbut), O pitanjima aksiomatizacije kvantne logike (A. Kron, Z. Marić), Šta je intuitivno paradoksalno u daljinskim korelacijama u kvantoj mehanici (M. Vujičić, F. Herbut), O Bellovoj nejednakosti (I. Ivanović), Uticaj efekta ekraniranja u plazmi na verovatnoću emisije fotona iz pobuđenih atomskih stanja (M. Popović, A. Mihajlov, D. Đorđević). U diskusiji je dominiralo pitanje aksiomatizacije fizičkih nauka, jer se aksiomatizacija ne može izvršiti kao u matematici.

Narednu seriju čine radovi iz termodinamike: Specifična toplota jednodimenzionog kompresibilnog Izingovog magnetika sa Ajnštajnovim fononskim spektrom (S. Milošević, M. Mijatović), Pojam temperature u Ajnštajnovim radovima (M. Popović—Božić), Treći princip termodinamike i kvantno-statistički sistemi (M. Kulić, Lj. Ristovski, G. Ristovski—Davidović).

Mada se kroz sve radove, a naročito u preglednim predavanjima, provlači gnoseološka strana Ajnštajnovih teorija, iz te oblasti se mogu izdvojiti i dva posebna rada; to su: Razvoj pojma inercije od klasične mehanike do savremene fizike. (Lj. Novaković) i Neka spoznajno—teorijska pitanja Ajnštajnovog shvatanja fizikalne realnosti (M. Hasić).

U poslednju grupu spadaju radovi koji govore o odnosu Ajnštajna i nekih istaknutih Jugoslovena. To su saopštenja sa naslovima: Ruđer Bošković i Albert Ajnštajn (E. Stipanić), Milutin Milanković i pokušaj objašnjenja rezultata Majkelson—Morlijevog ogleda (M. Dimitrijević), Istraživanje Vladimira Varićaka u području Ajnštajnove teorije relativnosti (Ž. Dadić), Ajnštajn i Jugosloveni (Đ. Kurepa).

Citirani naslovi potvrđuju da je lepeza problema veoma široka, što predstavlja manifestaciju veličine Ajnštajnove uloge u fizici i istovremeno otkrivaju dubinu problema koji čekaju na rešenja. Svi radovi biće publikovani u posebnoj knjizi.

Mi koji smo bili prisutni na simpozijumu, imali smo dva izuzetno bogata dana u životu. Vrednost simpozijuma je i u tome što predstavlja podstrek za dalji naučno-istraživački rad. Organizatori simpozijuma (Institut „Boris Kidrič" iz Vinče, Institut za fiziku, PMF, Republička zajednica za naučni rad i Narodna biblioteka SR Srbije) su na najbolji način organizovali obeležavanje stogodišnjice rođenja nemirnog duha i neumornog stvaraoca — Alberta Ajnštajna. Šteta je što sredstva javnog informisanja nisu posvetila veći prostor ovom događaju.

Primljeno oktobra 1979.

THE SYMPOSIUM DEDICATED TO THE CENTENARY OF ALBERT EINSTEIN'S BIRTH

B. Jovanović

A report on the symposium held in Belgrade, on 14[th] and 15[th] of September 1979, dedicated to the centernary of Albert Einstein's birth is given.

UDC 530.12 (021.3)

АЈНШТАЈНОВА ТЕОРИЈА РЕЛАТИВНОСТИ

Зоран Ивановић, Милан Мијић

Астрономско друштво „Р. Бошковић", Београд

Овај чланак аутори посвећују усиомени на ироф. др Радована Данића — свої ирвої и најдражеї учиіеља у науци.

ДЕЈСТВО И ПОСМАТРАЧ

„Радосш од іледања и разумевања је најлейши дар йрироде" (А. Ајнштајн)

У обема великим теоријама XX века, квантној теорији (КТ) и теорији релативности (ТР), значајне ревизије везане су за појмове дејство и посматрач.

У квантној теорији се дошло до сазнања да постоји минимална промена дејства (једнака Планковој констанити h), док је у теорији релативности један од основних постулата да је брзина преношења информације ограничена и да износи $c \cong 300\,000$ km/s.

Улога посматрача у обема теоријама битно се разликује од улоге коју је он имао у класичним теоријама. У класичним теоријама се резултати мерења могу једноствано ослободити утицаја посматрача док, например, резултат мерења дужине неког предмета у ТР зависи од релативне брзине објекат-посматрач; резултат мерења положаја неког објекта у КТ неодређен је због импулса који посматрач преда објекту у процесу мерења. Прелаз на класичне теорије врши се отклањањем „ограничења" за величине h и c. Другим речим. узмимо да је $h = 0$ и $c = \infty$.

ИНВАРИЈАНТНОСТ

„Ми, као и увек, говоримо различитим језицима — али се од тога ствари не мењају"
М. Булгаков — „Мајстор и Маргарета")

Да бисмо осветлили разлоге који су довели до појаве теорије релативности, замислимо најпре два посматрача S иSo. Нека се посматрач S креће у односу на So константном брзином v дуж x—осе. Нека сада посматрач S измери положај неке тачке на x-оси и добије вредност x. На први поглед нама изгледа сасвим прихватљиво да ће ова тачка бити удаљена од посматрача So за растојање $x_0 = x +$ (растојање од So до S) $= x + vt$, јер се S креће брзином v па се његово растојање овећава током времена. Прелаз са координата осматрача So на координате посматрача S назива се Галилејовом трансформацијом координата лако се показује да не мења законе Њутнове механике.

Суочен са драматичном чињеницом да се при Галилејевим трансформацијама закони електродинамике мењају при прелазу од посматрача So на посматрача S, Алберт Ајнштајн је почетком XX века, могао да бира између три могућности:

— за различите посматраче важе различити закони електродинамике
— закони електродинамике нису добри (у опреци са експерименталном потврдом ових закона)
— закон „$x = x_0 + vt$" није добар (у опреци са нашом „здраворазумском логиком" и интуитивним схватањем простора и времена).

Након детаљне и дубоке анализе основних појмова и закона електродинамике А. Ајнштајн је изабрао трећу као једино прихватљиву варијанту: дакле, закон „$x_0 = x + vt$" није добар!

На питање како изгледа „добар" закон прелаcка од S на So, одговавор дају Лоренцове трансформације. Али о томе касније.

Итакнимо суштину друге основне Ајнштајнове идеје (прва је коначност брзине простирања дејства): сви физички закони морају бити тако формулисани да су инваријантни у односу на Лоренцове трансформације. Једноствавније: физички закони морају имати исти математички облик за све посматраче који су везани Лоренцовим трансформацијама. Овај други принцип проширује први, те он гласи: брзина преношења дејства је ограничена и иста за све посматраче.

ЛОРЕНЦОВЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ

„Е ми овде у већини случајева имамо по два-три дана и ноћи уједно. . ."
(Л. Керол — „Алиса у земљи иза огледала")

Да би се нашао конкретан облик Лоренцових трансформација најпростије је поћи од тога да је координата x_0 нека функција од x, v и t. Због такозване хомогености и изотропности простора [1]) веза мора бити линеарна $x_0 = k\,(x + vt)$. Због другог принципа мора бити $x = k\,(x_0 + ut_0)$ Овде је u брзина So у односу на S, дакле $u = -v$. Треба уочити да смо дозволили да се у принципу време у So разликује од времена у S. Да би се нашла вредност константе к посматра се кретање светлости у оба система (мора бити са истом брзином — због првог принципа). Дакле, $x = ct$; $x_0 = ct_0$. Када се на овај начин одреди константа k добија се да је

---

[1]) Хомогеност простора значи да су све тачке простора равноправне, изотропност простора значи да су сви правци у простору равноправни другим речима: у простору нема привилегованих тачака ни правца.

$$X_0 = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \qquad t_0 = \frac{t + \frac{v}{c^2} X}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{1}$$

Прво што уочавамо је да се време у ова два различита система разликује. Друго: прелаз на класичне резултате добија се стављањем $c = \infty$, што другим речима значи да је v мало у поређењу са c. У условима у којима ми живимо ово је увек испуњено, и то је објашњење зашто раније нисмо приметили оно што се обично зове „релативистички ефекти".

КАКАВ ЈЕ ПРОСТОР

„Ја сам поносно изјавио — простор је једноставно поље линеарних операција. — Бесмислица, рече Хајзенберг, простор је плав и по њему лете птице."
(Ф. Блох — „Хајзенберг и први дани квантне механике")

Истовремено појављивање и временске и просторне координате у Лоренцовим трансформацијама наводи да се уведе један четвородимензионални простор у коме се временска координата појављује као равноправна четврта координата. Овај простор ћемо звати квадрипростр. Да би ова координата имала димензију дужине, усвојићемо да је она једнака ct.

У еуклидском простору, који је био позорница догађаја Галилеј—Њутнове физике, растојање између две тачке дато је са $\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2$. Растојање између две тачке очигледно не зависи од избора посматрача — каже се да је оно инваријанта у односу на трансформације ротације и транслације.

Што је растојање у квадрипростору? Пре свега то мора бити инваријанта у односу на Лоренцове трансформације. Може се доказати да је то величина

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 - c^2 \Delta t^2 \tag{2а}$$

или у сферним координатама

$$\Delta s^2 = \Delta r^2 + r^2 \Delta\Theta^2 + r^2 \sin^2\Theta \Delta\varphi^2 - c^2 \Delta t^2 \tag{2б}$$

Знак минус који се овде појављује има важне последице: он говори да квадрипростор[2]) није обично проширење Еуклидског простора за још једну димензију. У том случају би морао да буде знак плус.

Будући да је позорница физичких догађаја постала четвородинамензионална и сами „актери" — физичке величине — се дефиншу као четвородимензионалне. Тако, например, четврта компонента импулса је енегија, четврта компонента брзине је $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$ четврта компонента густине струје је густина наелектрисања итд.

Такво је било гледиште специјалне теорије у којој се не узимају у обзир гравитационе силе. Ајнштајн је 1916 године показао да у присуству гравитације геометрија постаје сложенија — простор више није „раван".

ЗАШТО ПРОСТОР НИЈЕ РАВАН

„Где је материја — ту је геометрија" (*Ј. Кеплер*)

Кључно питање може се формулисати на два популарна начина који су međусобно еквивалентни:

— *колико се правих кроз тачку ван ње може повући а да оне са њом немају заједничких тачака — другим речима: колико има „паралелних" правих са задатом?*
— *колики је збир углова у троуглу?*

На ово питање први је одговорио Еуклид постулирајући варијанту *А*. Лобачевски, Гаус и Бољај су нашли да алтернатива В нема логичких замерки, а Лобачевски и Гаус су чак мерењима покушали да одреде која варијанта одговра реалном простору. Ајнштајнова теорија је показала да је варијанта С геометрија реалног простора.

---

[2]) Овакав простор се зове квази-еуклидски простор.

		тип геометрије	број паралелних правих	збир углова у троуглу
A	Еукилд	параболички	1	два права (*2R*)
B	ЛГБ	хиперболички	више од две	мањи од *2R*
C	Риман	елиптички	0	већи од *2R*

Свакој од ових геометрија може се придружити једна величина коју зовемо закривљеност простора. Закривљеност Римановог простора је мања од нуле, простора ЛГБ већа од нуле а Еуклидског простора нула. Зато се Еуклидски простор зове раван простор. Да би смо одговорили на питање зашто је реалан простор закривљен морамо се позабавити питањем: шта је то права? Обично се популарно каже да је то најкраће растојање између две тачке. Међутим најкраће растојање између две тачке на сфери уопште није „право". Прецизније питање би било како изгледа права? Одговор је: *то је путања слободне честице.* Али сада се долази до чудних последица. Како знамо да је честица слободна? Знамо по томе што на њу не делују силе. Добро. Посматрајмо сада космонаута у орбиталној станици. Он не осећа никакве силе и закључује да се брод креће по „правој". Укључује камере, и, о чудеса, дужим посматрањем закључује да се после извесног времена поново налази изнад исте тачке. Његова „права" је затворена линија. Назовимо ову „праву" *геодезик.* Други пример. Међузвездани брод, далеко од масивних тела, путује вођен аутоматским пилотом. Апарати уочавају препреку, скрећу брод и поново га враћају на првобитну путању. Космонаут зачуђено констатује да се ствари у кабини померају — почела је да делује нека сила. Начинимо резиме оба случаја: у првом нема силе јер се брод креће по „правој" (*по геодезику*). У другом се појављује сила, брод је скренуо са „праве" (*са геодезика*). Потпуно исти ефекат произвела би и нека стварна гравиатциона сила. Убрзање се може поништити али се може и створити!

Да ли је поништено убрзање у потпуности еквивалентно створеном? Убрзању које ствара гравитација зависи од такозваное гравитационе масе тела (m_g), убрзање које је резултат скретања са геодезика зависи од инертне масе (m_i). Мађарски физичар Етвеш је упоређивао ове масе и нашао да се поклапају до на милијардити део процента! Многи физичари су овај резултат проверавали у разним условима — и увек је резултат био исти $m_g = m_i$. Има ли, дакле, разлога тврдити да су ове две масе идентичне? Ајнштајн је казао: *да, и због тога је убрзање еквивалентно гравитацији.* Због тога се слободна честица увек креће по геодезику, а *ако то није права у еуклидском смислу — онда је простор закривљен.*

Како онда рачунати растојање у закривљеном простору? Одговор је још раније, дао Ф. Гаус. Ако, например, на дводимензионалном закривљеном простору (сфери) кроз неку тачку повучемо две праве кое су узајамно нормалне, биће растоание до суседне таачке $\triangle s^2 = g_x \cdot \triangle x^2 + g_y \cdot \triangle y^2$. Величине g_x и g_y зависе од закривљености простора (сфере). У општем случају квадрипротора формула је нешто компликованија, али остају коефицијенти уз промене координата. Њих у ТР зовемо *коефицијенти метричког тензора.* Каже се да они одређују метрику простора. А шта њих одређује? Већ смо рекли: закривљеност простора. Али шта одређује закривљеност? Ајнштајн ј казао: *гравитација, распоред материје и енергије у простору.* Значи да распоред материје дефинише геодезике (праве), одређује структуру простора. И обрнуто — структура простора одређује како ће се кретати слободна честица.

Принцип еквиваленције гравитације и убрзања је трећа основна Ајнштајнова идеја и на њој је базирана општа теорија релативности (ОТР). Тиме смо у стању да уведемо један специјални убрзани систем у коме, ако постоје само гравитационе силе, убрзањем поништавамо гравитацију — тако да је укупно убрзање једнако нули. Међутим јасно је да се овакав систем не може увести за све тачке простора на исти начин, иако се за сваку појединачну тачку и њену околину то увек може. Овакве системе зовемо *локално инерцијални системи* (*ЛИС*).

ЗАКОНИ КРЕТАЊА

„Главни циљ физичке теорије је да се нађе број и при том са довољном тачношћу",
(Ричард Фејнман — „Теорија фундаманталних процеса)

Сад ћемо — идући само од идеје до идеје — показати како се из фундаменталних принципа теорије релативности добијају једначине кретања тела у простору и времену. Обрадићемо један специјалан али значајан случај.

Замислимо да у координатном почетку имамо неку материјалну тачку велике масе, рецимо Сунце, да у околном простору немамо других тела или да су она занемарљива масе

и посматрајмо неку честицу такође занемарљиве масе која се креће под дејством Сунца. То може бити нека комета, мања планета или нека елементарна честица, на пример фотон.

Класична механика каже да орбита мора бити елипса, хипербола или парабола, али ми ћемо то да заборавимо јер хоћемо да нам ТР да решење на свом језику. (Интересантно је да је и Њутнова теорија израсла из решења овог проблема, када је из наслућеног закона $F = Gm_1m_2/r^2$ Њутн добио као коначне путање елипсе. Њутн је зато морао коначно да оформи инфинититезималну анализу и да се научи да беспрекорно мисли у њеним појмовима. Два и по века касније Ајнштајн је морао да прибегне — што га је искрено зачудило, тада већ готовом и врло модерном апарату тензорске анализе да би добио тачније орбите планета око Сунца. Тај Ајнштајнов пут овде и прелазимо).

Поставимо наш координатни систем у тачку у којој се налази посматрана честица, тако да у делићу секунде има исту брзину као и она. То је локално-инерцијални систем за ту тачку простора. По принципу еквиваленције у њему се неће осећати гравитационо привлачење Сунца, па пошто нема других сила једначина кретања је,

квадривектор убрзања (у ЛИС) = 0. (3)

При произвољној трансформацији координата, убрзање у једном систему не прелази у убрзање у другом (види се по дефиницији). Општа веза је ипак доста једноставна и тако при трансформацији једначине (3) на хелиоцентричне координате добијамо,

квадривектор убрзања (у ХЦС) + Г = 0. (4)

Величина Г (носи егзотично име афина повезаност) зависи од везе хелиоцентричног система (ХЦС) и локално-инерцијалног система (ЛИС) оне тачке у којој се честица налази. Та величина је различита за разне тачке на путањи и знали бисмо њен општи облик само када бисмо знали једначину путање — али баш њу и тражимо! Али нешто знамо: метрички тензор у свим ЛИС, (он даје метрику у (2а)), а затим за метрички тензор као и за сваки тензор важи линеарни закон трансформације, па је

метрички трензор (у ХЦС) = метрички трензор (у ЛИС) × нешто (што зависи од Г) (5)

Из те једначине добијамо Г као функцију метрике у ХЦС. Пошто метрички трензор у ХЦС потпуно описује геометријска својства простора виђеног из ХЦС, та информација прелази у Г. Тако долазимо до толико пута исказаног величанственог закључка ТР. Ако у (4) пребацимо Г на десну страну и помножимо све са масом честице, имамо

маса × квадривектор убрзања (у ХЦС) = —маса × Г (као функција метрике у ХЦС) (6)

То је једначина кретања честице око Сунца у хелиоцентричним координатама. Видимо да је сила која делује на честицу последица, израз, метрике (геометрије) простора око Сунца. Кад би се исписао тачан израз за Г видели бисмо да је у случају псеудо-еуклидске метрике та сила једнака нули. Она је дакле различита од нуле, тј. имамо гравитацију, само када је простор закривљен, не-еуклидски.

Тиме је решено како Сунце делује на честицу. Одговор је преко закривљености простора изражене у нееуклидском облику метричког тензора. Треба нам сада друга половина проблема: како Сунце криви простор око себе. Ајнштајн је својом великом интуицијом на основу неких општих поставки као нпр., да су све величине представљене тензорима, да се у граничном прелазу добијају Њутнове једначине, итд., добио прецизан математички израз тражене везе. Она гласи,

закривљеност (у некој тачки) = густина енергије (у тој тачки) (7)

То су тзв. Ајнштајнове једначине. Величина на левој страни представља компликовану али познату функцију компоненти метричког тензора. Тих једначина има десет независних и оне образују систем парцијалних диференцијалних једначина. Зачуђујуће је на колико математички компликован начин једначина (7) исказује да материја (енергија) криви простор, а то је ипак тако, иако у њој није сам метрички трензор његова функција. [3])

РЕШЕЊА ЈЕДНАЧИНА КРЕТАЊА

„Ако се ваше знање не може изразити бројем, оно је у најмању руку непотпуно"
(Лорд Келвин)

Применимо једначине (4) и (7), које универзално важе, на кретање честица око Сунца. У том случају је у ХЦС,

$$\text{густина енергије} = \begin{cases} \text{маса Сунца} \times (\text{брзина светлости})^2 \text{ у координатном почетку,} \\ 0, \text{ у свим осталим тачкама.} \end{cases} \quad (8)$$

Пошто нас координатни почетак не занима, јер када је честица у њему знамо путању и без рачунања, добијамо

закривљеност (у свим тачкама) = 0. (9)

Решење ове једначине нашао је већ 1916. г. астроном Карл Шварцшилд. Израз за Г је релативно компликован, али компоненте метричког тензора су једноставне. Шварцшилд је добио да право растојање између две тачке у околини Сунца треба да се рачуна по формули

$$\Delta s^2 = (1 - 2\,MG/r^2)\,\Delta r^2 + r^2\Delta\,\Theta^2 + r^2 sin\,\Theta\Delta\varphi^2 - \frac{c^2\Delta t^2}{1-2MG/r^2} \qquad (10)$$

Видимо да у односу на формулу у незакривљеном простору имамо наизглед мале али битне разлике. Када смо јако далеко од Сунца ($r\rightarrow\infty$) добијамо формулу за простор без гравитације (2б).

Сада чисто математичком техником по познатим везама израчунавамо Г па решимо једначину (4) и добијамо орбиту честице. Решење се по облику мало разликује од Њутнових елипси, парабола и хипербола. Та разлика је ипак врло битна, јер омогућава да се провери исправност Ајнштајнове теорије. Од више успешних провера исправности ове теорије поменућемо најстарију: објашњење померања Меркуровог перихела.

Путања планете је елипса само ако на њу делује централна сила која опада са квадратом растојања. Ако је нецентрална или ако није тачно по квадратном закону, кретање је у облику петље која се може разложити на кретање по елипси и ротацију те елипсе око жиже у којој је Сунце. Привлачење осталих планета даје такву нецентралну силу. Тај поремећај је очито већи за мање планете јер потиче од већих. Стога је дуго Меркур био једино тело код кога је посматрано померање перихела и стари астрономи су одсуство те појаве код великих планета тумачили као потврду закона обратних квадрата.

Али временом се испоставило да колико год тачно обрачунавали поремећаје од осталих планета, остаје један део померања перихела који није имао објашњење. Настала су разна објашњења у духу класичне механике. Леверје, откривач Нептуна, је претпоставио да постоји још невиђена планета ближа Сунцу него Меркур, чак је одредио и њене елементе али она никада није пронађена по њима; Симон Њукомб је покушао да објасни неправилност у Мерукуровом кретању узевши да сила није квадратна, већ са експонентом —2,000 000 000 001 (!); Зелигер је 1911. г. конструисао модел прстенова у равни еклиптике, који даје зодијакалну светлост и чије би гравитационо дејство дало допунско померање Меркуровог перихела. [3])

Цела та историја неодољиво подсећа на сумрак Птоломејеве теорије епицикала у коју су увођени све компликонији системи да би се добило слагање са посматрањима и томе није било краја.

Ајнштајнова теорија је дала померања Меркуровог перихела одмах. Наиме, орбите планета, добијене из једначине (4) су садржавале то допунско померање саме по себи. Томе померању није било узрок неко друго тело, већ је оно последица баш оне мале разлике између Њутновог и Ајнштајновог решења, значи у крајњој линији баш таквог облика једначина (4) и (7), тј. принципа ТР. Сам Ајнштајн је израчунао то померање за Меркур, а касиније је аналогна појава посматрана и објашњена и код неких астероида који се јако при ближавају Сунцу.

И зато, не умањујући лепоту и убедљивост формула ТР, када угледате Меркур на вечерњем небу сетите се да је заношење орбите те сићушне светле тачке за ништавна 43"- у сто година још и данас најпоузданији доказ истинитости фундаменталних принципа Ајнштајнове теорије.

Примљено септембра 1979.

EINSTEIN'S THEORY OF RELATIVITY

Z. Ivanović and M. Mijić

A review of the basic fealures of the Einstein's theories of relativity is given.

[3]) У новије време малобројнија, али изгледа моћна струја међу теоријским физичарима геометријско тунмачење гравитације не види као њену „суштину", већ пре као неку интересантну специфичност. Као „суштину" гравитације они траже нешто што би могло да обухвати све силе у природи. Геометријска тумачења су безуспешна за остале три фундументалне силе јер за њих не важи принцип еквиваленције.

[4]) Интересантно је да је модел прстенова био последњи класични модел и у атомској теорији. Јапанац Нагаока је замислио атом као језгро око кога кружи прстен негативног наелектрисања, при чему потпуно остају да важе закони класичне физике. Али и тај покушај је пропао и право објашњење су дали творци квантне механике на челу са Нилсоном Бором, извршивши још драстичнију ревизију основних појмова физике него Ајнштајн у ТР.

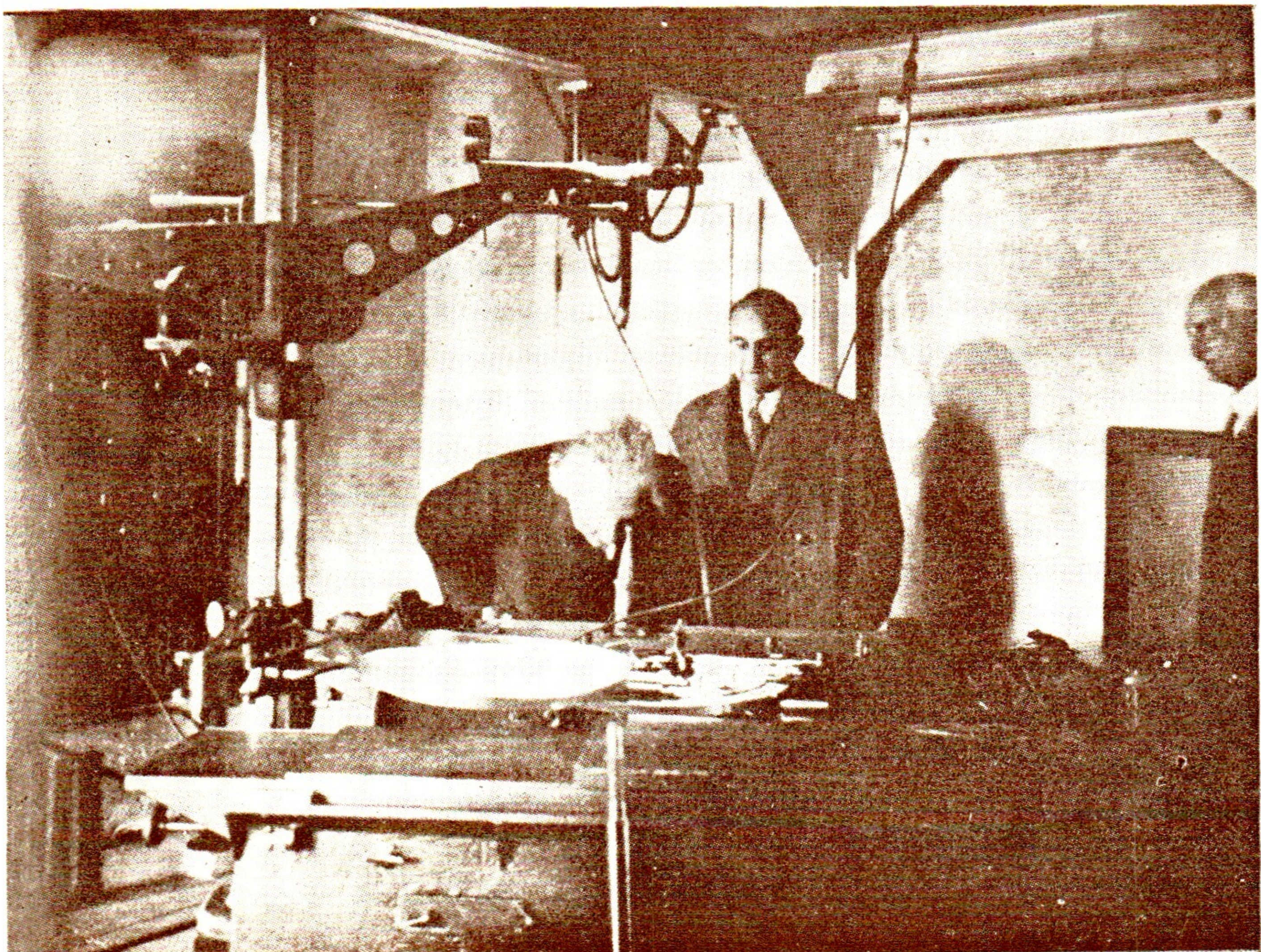




Сл. 1. Алберт Ајнштајн је волео музику. Овај снимак је начињен 1930. г. за време његовог пута у САД.

Сл. 2. Ајнштајн и Лоренц, по завршетку I светског рата.

Сл. 3. Астрономски докази имају важно место у Ајнштајновим теоријама. На слици: Ајнштајн разгледа Сунчани телескоп од 150 стопа опсерваторије Мт. Вилсон, 1930. године. Поред њега стоји др Мејер.



Сл. 4. Милева Марић и Алберт Ајнштајн, снимак из 1911. године. (Више о Ајнштајновој сапутници и сарадници из најуспешнијег периода његовог рада читаоци ће наћи у књизи Десанке Ђурић-Трбухсвић: У сенци Алберта Ајнштајна, Багдала, Крушевац, 1969. г.)

Сл. 5. Пет великана — носилаца Нобелове награде за физику: Нернст, Ајнштајн, Планк, Миликен и Лауе.